Ciencia e Ingeniería
Revista Interdisciplinar de Estudios en Ciencias Básicas e Ingenierías.
Año 2014, Enero-Junio, Vol. (1) N° (1) ISSN 2389-9484.
Universidad de La Guajira, Facultades de Ciencias Básicas y Aplicadas e Ingeniería.
La Guajira-Colombia.
Revista en Línea http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei



CONTROLADOR EN MODO DESLIZANTE DEL PUNTO MÁXIMO DE POTENCIA EN LA CARGA DE BATERÍA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO (SFV).

SLIDING MODE CONTROLLER FOR MAXIMUM POWER POINT BATTERY CHARGING OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM

Gerzhel Gómez Julio[1] Olenka Gómez Julio[2] y Jaider Mendoza Amaya[3]

1. Ingeniería de Control y Automatización de Procesos en la Universidad Rafael Belloso Chacín
2y 3. Ingeniería Civil, Universidad de La Guajira
ogomezjulio@uniguajira.edu.co.

Recibido: abril 10 de 2014 Aceptado: julio 24 de 2014

RESUMEN

En este artículo, se presenta un circuito seguidor del punto de máxima potencia (MPPT) y simulación de un SFV, para la estimación del punto de operación de máxima potencia (MPP). Al seguir y forzar al módulo fotovoltaico (PVM) mediante un MPPT se llega a este punto y lo obliga a permanecer allí durante todo el tiempo futuro que se necesite proporcionar la máxima potencia disponible para la carga. La carga se compone de un banco de baterías. Esto se obtiene controlando el ciclo de trabajo de un convertidor DC-DC a través de un controlador en modo deslizante. Este controlador estima el punto de máxima potencia como una referencia para el seguimiento de ese punto y obligar al SFV operar en dicho punto. Este método tiene la ventaja que garantizará la máxima potencia de salida posible gracias a su configuración, mientras se tiene en cuenta los parámetros dinámicos de temperatura e irradiación solar y de este modo la entrega de más energía para cargar la batería. El procedimiento de diseño, simulación y los resultados se presentan en este documento.

Palabras Clave: Modo deslizante, Sistema Fotovoltaico, Convertidor DC-DC, Punto de máxima potencia.

ABSTRACT

In this paper, we present a maximum power point tracker (MPPT) circuit and SFV simulation, to estimate the point operating of maximum power (MPP). Tracking and force the photovoltaic module (PVM) by a MPPT to reach this point and to stay there in a future time need to provide the maximum power available to the load. The load consists of a battery bank. This is obtained by controlling the duty cycle of a DC-DC converter through a sliding mode controller. The sliding mode controller is given the estimated maximum power point as a reference for it to track that point and force the PV system to operate in this point. This method has the advantage that it will guarantee the maximum output power possible by the array configuration while considering the dynamic parameters temperature and solar irradiance and delivering more power to charge the battery. The procedure of designing, simulating and results are presented in this paper.

Key Words: Sliding mode, Photovoltaic System, DC-DC Converter, Maximum Power Point.

I. INTRODUCCION

En la actualidad se ha realizado diferentes trabajos de investigación para mejorar el uso de la energía solar. La generación de electricidad a través de celdas solares fotovoltaicas ha sido uno de los más investigado y estudiado. El efecto fotovoltaico es la tecnología que utiliza celdas solares o una serie de ellas para convertir la luz solar directamente en electricidad. La energía producida por la celda de gran forma depende directamente de factores que no son controlados por el ser humano como: la temperatura en la celda y la radiación solar. Por lo general, la energía generada por estos paneles solares se utilizan para proporcionar electricidad a una carga y la energía restante se almacena en las baterías.

Las celdas fotovoltaicas (PV) tienen un único punto de operación donde los valores de la corriente y el voltaje de la celda en consecuencia son la salida máxima de potencia. Estos valores corresponden a una resistencia particular que es igual a la división de la tensión máxima y corriente máxima. Mediante la conexión de la celda PV directamente a una carga o una batería, la potencia de salida puede ser severamente reducida debido al desajuste de la carga o en caso de una batería, la tensión de carga no coincide. Este punto de operación depende de factores como la temperatura, la irradiación solar y la impedancia de carga, es necesario un dispositivo capaz de seguir el máximo punto de potencia y forzar al módulo fotovoltaico (PVM) para operar en ese punto. Un seguidor de punto de potencia máxima (MPPT) es un dispositivo capaz de rastrear del punto de máxima potencia y acoplado a un convertidor DC-DC, extrae la potencia máxima disponible por el PVM. Al controlar el ciclo de trabajo de la frecuencia de conmutación del convertidor DC- DC podemos cambiar la tensión equivalente del PVM y por lo tanto su resistencia equivalente a una en donde el PVM esté operando en el punto de funcionamiento de potencia máxima.

Varios métodos han sido diseñados e implementados para buscar este punto de operación. Un método común es el de Femia y Petrone que se basa en un algoritmo de Perturbación y Observación (P & O). Los algoritmos de P & O clásicos tienden a medir la potencia de salida del convertidor a fin de cambiar la tensión de entrada mediante la modificación del ciclo de trabajo del convertidor. Otro método común son los usados en los estudios de Weidong y Atrash que usan el método de subida de pendientes. Este método se basa en un algoritmo de ensayo y error en el que se aumenta la tensión hasta llegar a tal tensión que el sistema FV presente una potencia máxima. Otros algoritmos MPPT muestrean el voltaje de circuito abierto y colocan a operar al módulo PV en un porcentaje fijo de esta tensión. Los algoritmos de conductancia incrementales de son otro método para realizar el seguimiento del MPP como los de Yusof, Ho Lee y Wu Libo. Otros métodos que se han utilizado para obtener la potencia máxima son los parámetros de las estimaciones por Il-Song Kim, redes neuronales y el método lineal reorientado en el estudio de Ortiz y Fang.

Algunas de las desventajas de estos métodos son que algunos de ellos requieren de hacer un montón de iteraciones para calcular la relación entre el equilibrio de trabajo y estado óptimo. Algunos de ellos utilizan valores aproximados que no garantizan la cercanía a la salida de potencia máxima. Algunos pueden ser muy complejos, lentos y puede volverse inestable si el MPP se mueve abruptamente.

En este artículo se presenta la implementación de un circuito MPPT, basándose en llegar a un voltaje de circuito abierto de referencia, utilizando un control en modo deslizante para controlar el ciclo de trabajo de un convertidor DC-DC para obligar al módulo fotovoltaico a funcionar a su punto de máxima potencia, para una temperatura dada e irradiación. Con el fin de mejorar la utilización de la energía producida cuando se conectan a una carga, que para este caso, la carga es una batería.

II. SISTEMA PROPUESTO

La figura 1 muestra el esquema propuesto para el MPPT.

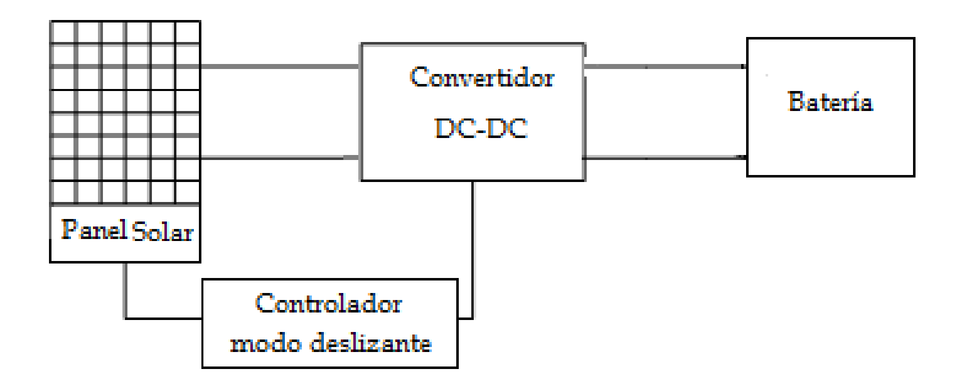


Figura 1. Esquema del sistema propuesto. Fuente propia

Este sistema utiliza un generador fotovoltaico (*s x p*) compuesto de *s* celdas en serie y *p* celdas paralelas. Se conecta entonces a un convertidor de DC-DC con el fin de aumentar o disminuir la tensión deseada. Luego, se conecta directamente a la carga, que se compone de una batería de 12 V. El ciclo de trabajo del convertidor es controlado por un controlador de modo deslizante.

El modelo propuesto garantizará la extracción de la potencia máxima que puede ser producida por el PVM, mientras se regula la tensión de carga a la tensión de la batería. De esa manera podemos tener una tensión de carga viable que pueda conectarse a un inversor mientras que acopla la resistencia de carga a la resistencia óptima del PVM.

III. TÉRMINOS MATEMÁTICOS.

Esta sección presenta los términos matemáticos utilizados en el documento.

• Función Re () - Extrae la parte real *a* de un número complejo de un escrito en la forma *a + bi*. Un número complejo es un número que se puede definir formalmente como un par ordenado de un número real.

• Función W de Lambert, *lambertw(x)* – La función W de Lambert, que fue nombrado por Johann Heinrich Lambert, se define como la solución de *W (x)* de la ecuación no lineal, *W (x)exp (W (x)) = x*.

IV. ECUACIONES DEL MODELO PV

En el pasado ha habido diferentes tipos de modelos para estimar las ecuaciones no lineales del módulo fotovoltaico (PVM). Algunos de estos modelos son el de Anderson, Bleasser y la más común, el modelo de un diodo. Todos estos modelos presentan un buen enfoque en la estimación de la tensión y la corriente de la celda solar, pero la mayoría de ellos necesitan mucho cálculo de potencia o necesitan información que no está disponible en la hoja del fabricante. Un modelo más adecuado para simular un módulo fotovoltaico es el propuesto por los ingenieros Ortiz y Peng en sus estudios de módulos PV, dicho modelo se conoce como el modelo PVM Ortiz. En ese trabajo, un modelo PV fue propuesto donde las ecuaciones analíticas relaciona la corriente de salida de PV y la tensión de salida de PV con la temperatura y la radiación solar sobre el módulo fotovoltaico. También muestra la validación de los resultados experimentales de la precisión y la eficacia del modelo propuesto. Una ventaja de este modelo

es que toda la información necesaria se puede encontrar en la hoja de datos del fabricante. También muestra cómo la energía fotovoltaica se ve afectada por los cambios en la temperatura y la radiación solar.

Las ecuaciones son las siguientes:

$$I(V) = \frac{I_x}{1-exp\left(\frac{-1}{b}\right)}\left[1 - exp\left(\frac{V}{b.V_x} - \frac{1}{b}\right)\right] \qquad (1)$$

$$P(V) = V.I(V) = \frac{V.I_x}{1-exp\left(\frac{-1}{b}\right)}\left[1 - exp\left(\frac{V}{b.V_x} - \frac{1}{b}\right)\right] \qquad (2)$$

$$V_x = s.\frac{E_i}{E_{in}}.TCV.(T - T_N) + s.V_{max} - s.(V_{max} - V_{min}).exp\left(\frac{E_i}{E_{in}}.ln\left(\frac{V_{max}-V_{oc}}{V_{max}-V_{min}}\right)\right) \qquad (3)$$

$$I_x = p.\frac{E_i}{E_{in}}.[I_{sc} + TC_i.(T - T_N)] \qquad (4)$$

I_x y V_x representan la corriente de corto-circuito y la tensión de circuito abierto a una temperatura y la radiación solar dada. V es la tensión de salida del PVM, T es la temperatura de PVM, T_N es la temperatura de las condiciones estándar, E_i es la irradiación efectiva solar en el PVM, E_{in} es la irradiación solar en condición estándar, TCV es el coeficiente de la temperatura de voltaje de circuito abierto y TC_i es el coeficiente de temperatura a corriente de cortocircuito. $V_{máx}$ es el voltaje de circuito abierto a 25ºC y más de 1200W/m^2. V_{min} es el voltaje de circuito abierto a 25ºC y menos de 1000W/m^2.

La figura 1 muestra la relación no lineal entre la corriente y la tensión dada por la ecuación (1). La Figura 2 muestra la relación no lineal entre la potencia y la tensión, dado por la ecuación (2) en condiciones estándar. Podemos ver que la potencia máxima producida por el PVM ocurre en un determinado nivel de tensión. Dado que la función de la potencia depende sólo del voltaje y este es diferenciable para todos los valores de tensión, entonces la potencia máxima que se puede extraer del PVM ocurrirá cuando la derivada parcial de la potencia con respecto al voltaje es igual a cero. La derivada parcial de la potencia contra la tensión se da en la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial P(V)}{\partial V} = \frac{I_x - I_x.exp\left(\frac{V}{b.V_x} - \frac{1}{b}\right)}{1-exp\left(\frac{-1}{b}\right)} - V.\frac{-I_x.exp\left(\frac{V}{b.V_x} - \frac{1}{b}\right)}{b.V_x - b.V_x.exp\left(\frac{-1}{b}\right)} \qquad (5)$$

Igualando la ecuación (5) a cero y resolver por el voltaje se puede obtener el voltaje óptima que viene dada por (6).

$$V_{op} = Re\left(b.V_x.\left(lambertw\left(-0.36787944e^{\frac{1}{b}}\right) + 1\right)\right) \qquad (6)$$

De (6) se puede obtener una estimación muy aproximada del voltaje de salida de la celda PV en el cual se produce la máxima potencia. La ventaja de esta ecuación es su propiedad dinámica. El único término variante es V_x. Teniendo en cuenta que podemos expresar la ecuación como la siguiente:

$$V_{op} = C.V_x \qquad (7)$$

$$C = Re\left(b.\left(lambertw\left(-0.36787944e^{\frac{1}{b}}\right) + 1\right)\right) \qquad (8)$$

Ya que depende de Vx y este varía con respecto a la temperatura y la irradiación solar, el voltaje óptimo variará con respecto a las condiciones de la temperatura e irradiación, dando siempre una estimación del voltaje que se necesita para extraer la potencia máxima de la celda PV para todas las condiciones externas.

V. CONTROL EN MODO DESLIZANTE.

Un controlador de modo deslizante es un sistema de estructura variable donde la dinámica del sistema no lineal se altera a través de la aplicación de un control de conmutación de alta frecuencia. En el control de modo deslizante, las trayectorias del sistema se ven obligadas a llegar a una superficie de deslizamiento de colector, donde se exhiben las características deseables, en tiempo finito y permanecer en el colector para todo el tiempo futuro. Esto se logra mediante la estrategia de control adecuada. Para aplicar control de modo deslizante tenemos que saber si el sistema puede alcanzar el deslizamiento de colector. Una vez que los sistemas alcancen el colector deslizante, el controlador tiene que forzar al sistema a permanecer en el colector para todo el tiempo futuro.

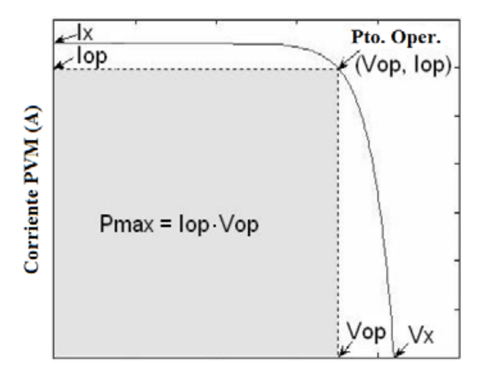


Figura 2. Salida del Panel Potencia vs. Tiempo.

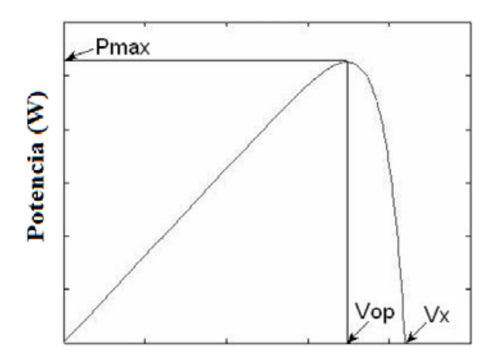


Figura 3. Salida del Panel Potencia vs. Tiempo.

Según Guldemir y Sharaf, el control en modo deslizante se utiliza extensamente para muchas aplicaciones, incluyendo sistemas de control para convertidores DC/DC, fuentes de alimentación, conexiones de red eléctrica, reguladores de velocidad en motores, sistemas de control de posición, entre otros. Para diseñar el controlador por modo deslizante tenemos que seleccionar la superficie deseada. Se desea obtener la potencia máxima que se puede extraer desde el PVM en condiciones de temperatura y de irradiación dadas. De la ecuación (6) podemos relacionar la potencia máxima a un voltaje óptimo. Ya que sabemos que el voltaje de salida lo tenemos que obtener con el fin de extraer la máxima potencia del SFV, elegimos una

superficie que va a obligar al sistema a alcanzar ese voltaje en un tiempo finito y permanecer allí durante un tiempo infinito. Con esto en mente, se eligió el siguiente colector deslizante:

$$\sigma = V - V_{op}$$

V es el voltaje de salida del panel PV y V_{OP} es el voltaje óptimo. Este colector deslizante nos asegurará forzar a todas las trayectorias del sistema para llegar al voltaje óptimo y mantenerla en allí para todos los tiempos futuros. Puesto que voltaje óptimo es dinámico, ya que cambia cuando se producen cambios en la temperatura y la irradiación, esta superficie de deslizamiento también está cambiando con respeto a la temperatura y la irradiación que nos da una superficie de deslizamiento dinámico. El modo deslizante se controla el ciclo de trabajo de un dispositivo de conmutación. De modo que el dispositivo de conmutación tendrá dos estados operación:

$$\begin{cases} On & V - V_{op} > 0 \\ Off & V - V_{op} < 0 \end{cases}$$

Ahora, el controlador se comportará de la siguiente manera:

$$u = \begin{cases} 1 & V - V_{op} > 0 \\ 0 & V - V_{op} < 0 \end{cases}$$

Una ley de control que nos garantiza que nuestro controlador se comportará de buena manera la cual está dada por la siguiente ecuación:

$$u = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}.sign(V - V_{op})$$

Esta ley de control también nos garantiza que las trayectorias del sistema alcanzarán el colector propuesto y permanecerá allí durante todo el tiempo futuro. Esto se puede explicar de una manera práctica. En primer lugar, debido a que el PVM no está conectado, el voltaje de salida del PVM será igual a su voltaje de circuito abierto. Dado que el voltaje de circuito abierto es mayor que el voltaje óptimo del dispositivo de conmutación se encenderá. Cuando el interruptor está activado, el voltaje de salida del PVM comenzará a caer debido al desajuste de carga hasta que llega por debajo del voltaje óptimo. A continuación, el interruptor se apagará y creerá una condición de circuito abierto obligando al voltaje de salida del PVM a aumentar al nivel de su voltaje de circuito abierto. Cuando la tensión de salida pasa al voltaje óptimo entonces el interruptor se apagará y la secuencia se iniciará de nuevo y continuará durante todo el tiempo futuro. Esta ley de control que funciona para una variedad de convertidores DC-DC como el convertidor Buck, convertidor SEPIC y convertidor Buck-Boost.

VI. SIMULACIÓN.

El sistema fue simulado utilizando el software Simulink de Matlab con el toolbox del sistema eléctrico. Con este software podemos simular y probar el controlador de modo deslizante y el modelo propuesto. El modelo de Simulink se muestra en la figura 4.

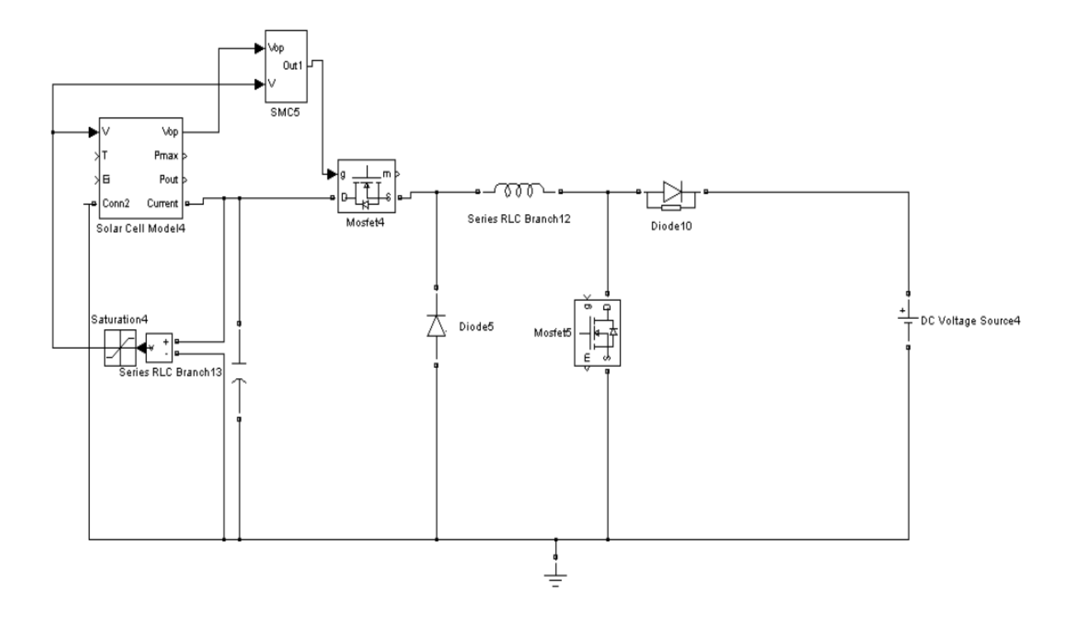


Figura 4. Esquema de simulación para el modelo propuesto. Fuente Propia

El modelo Ortiz PVM solar fue representado por un único bloque compuesto por una función de MATLAB Embedded que contiene las ecuaciones de una celda solar. El sistema fue simulado en condiciones de temperatura ambiente e irradiación solar constante y bajo la temperatura ambiente e irradiación solar variante con el fin de validar la eficacia del controlador. Las ecuaciones (1) y (6) se calcularon y se compararon con la hoja de datos de los fabricantes de varios modelos comerciales de PV. Los resultados de la simulación de la instalación PV, en condiciones ambientales constantes, conectado directamente a la batería y se conecta a la batería por un convertidor Buck -Boost de no inversión, en el modo de Buck, se muestran en las figuras 5 y 6. Simulaciones de la instalación PV, en condiciones ambientales variables, conectados directamente a la batería y conectados a la batería por un convertidor Buck -Boost de no inversión, en el modo de Buck, también son mostradas. El convertidor en modo Buck sólo utiliza un MOSFET, el de la izquierda, y el segundo Mosfet se apaga. Finalmente, las simulaciones mostraron en la figura 5, son para condiciones estándar para cada PVM y la figura 6, son para la temperatura y la radiación solar variables.

VII. RESULTADOS.

Las tablas 1 y 2 muestran los resultados del voltaje óptimo estimado V_{op}, la I_{OP} y P_{max} en comparación con el valor hoja de datos del fabricante. Estas tablas validan las ecuaciones (6) y (1) para el voltaje óptimo y la estimación de corriente óptima. El porcentaje de error para el voltaje y la corriente se encuentra dentro de los valores aceptables. Dado que la estimación está muy cerca de los valores óptimos dadas por el fabricante, por obligar al sistema a funcionar a la tensión estimada, nos garantizan estar trabajando en un punto de máxima potencia cercano. La Figura 5 muestra la temperatura e irradiación sobre el PVM. Las figuras 6 y 7 muestran la validación del controlador de modo deslizante y aseguran que el punto de operación PV está en el punto de cruce de las gráficas de potencia vs voltaje que hacen que el PV funcione a su máxima potencia en condiciones estándar (STC) e incluso bajo condiciones temperatura ambiente e irradiación solar variable, mientras que el suministro de potencia es mayor a la batería.

La Tabla 3 muestra el porcentaje de incremento en la potencia dada a la batería. Se puede observar que el método propuesto aumenta significativamente la potencia disponible entregada

a la batería. Las figuras 8 y 9 muestran los resultados de la simulación de la potencia que se le da a la batería en los dos modos de conexión: directamente a la batería y por medio de un convertidor.

Tabla 1: Comparación valores de tensión y corriente estimados vs. Valores de hoja de datos de PVM.

MODELO PV	Vop Hoja de datos	Vop Estimado	Error %	Iop Hoja de datos	Iop Estimado	Error %
Siemen SP75	17,0	17,593	3,490	4,40	4,2524	3,35
Shell SQ80	17,5	18,156	3,740	4,58	4,4305	3,27
SLK 60M6	30,6	30,762	0,530	6,86	6,8193	0,59
Solare SX-5	16,5	16,673	1,050	0,27	0,2669	1,17
Solarx SX-10	16,8	17,098	1,774	0,59	0,5789	1,87

Tabla 2: Comparación valores de Potencia estimados vs. Valores de hoja de datos de PVM.

MODELO PV	Pmax Hoja de datos	Pmax Estimado	Error %
Siemen SP75	74,8	74,815	0,02
Shell SQ80	80,15	80,44	0,36
SLK 60M6	209,92	209,777	0,068
Solare SX-5	4,455	4,449	0,135
Solarx SX-10	9,912	9,8989	0,132

Tabla 3: Comparación de la Potencia suministrada a la batería.

MODELO PV	Potencia en la batería conectada directamente (W)	Potencia en la batería conectada a través del convertidor (W)	Incremento en Potencia %
Siemen SP75	57,26	71,61	25,06
Shell SQ80	58,12	76,96	32,24
SLK 60M6	90,23	191	111,68
Solare SX-5	3,573	4,43	32,98
Solarx SX-10	7,753	9,815	26,59

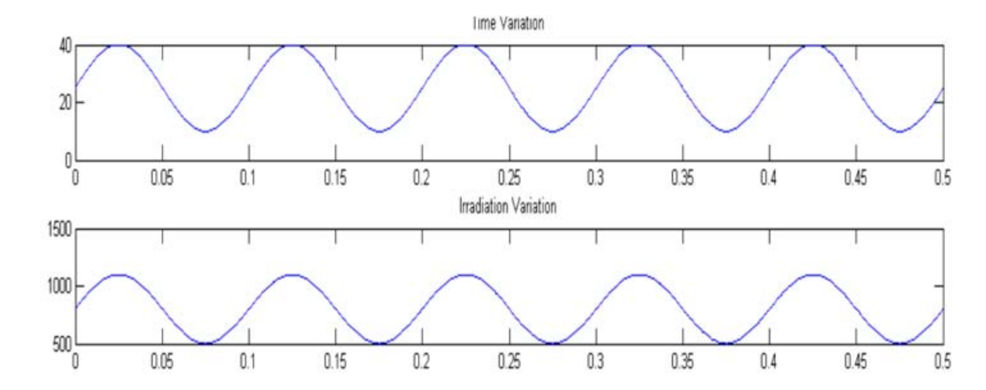


Figura 5. Variación de la temperatura e irradiación en el PVM

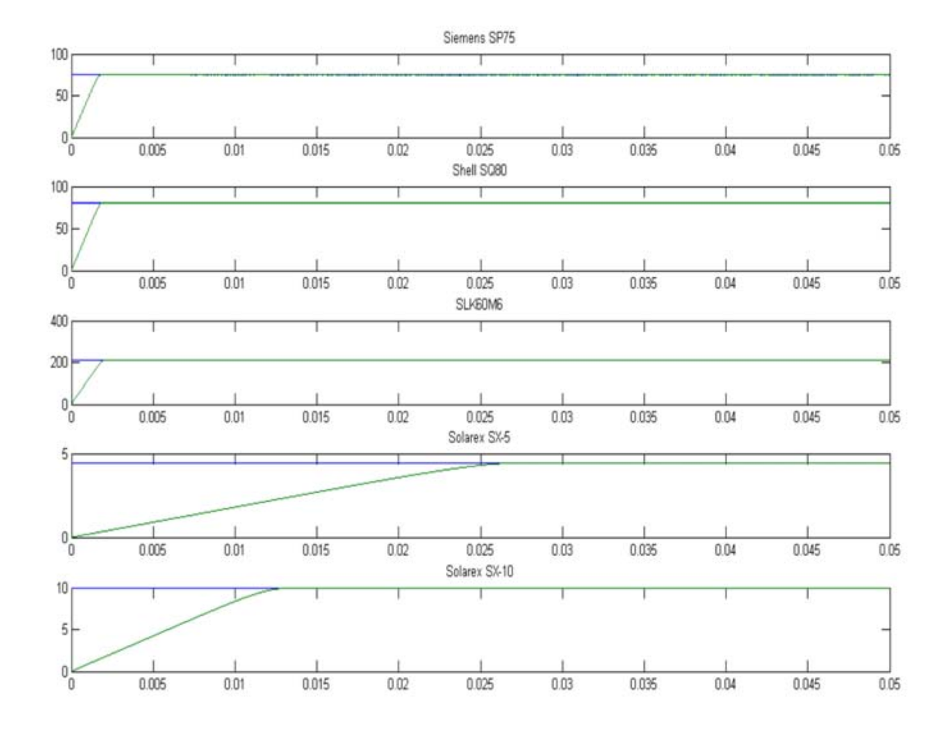


Figura 6. Potencia de salida máxima posible en el PVM (azul) vs Potencia real del PVM cuando se conecta al MPPT propuesto (verde) en condiciones normales.

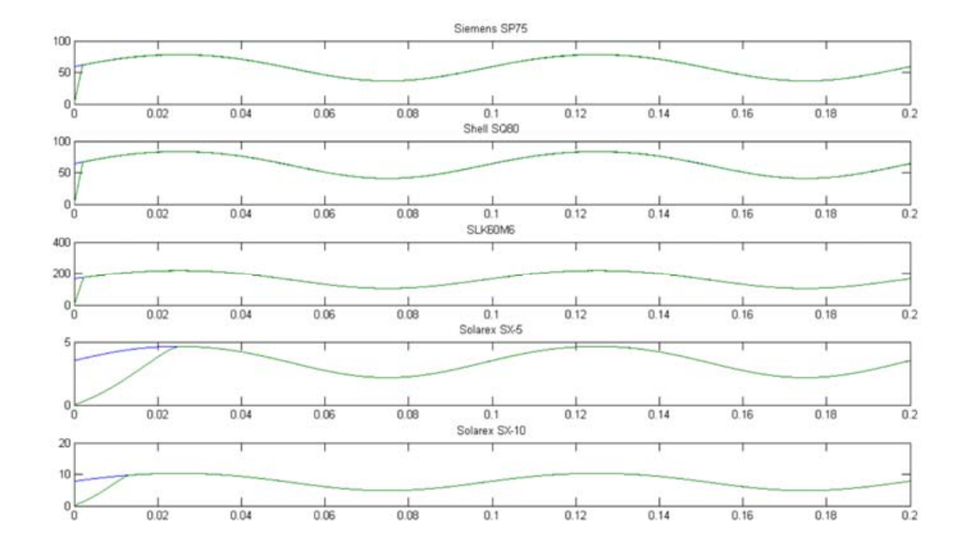


Figura 7. Potencia de salida máxima posible en el PVM (azul) vs Potencia real del PVM cuando se conecta al MPPT propuesto (verde) en condiciones variables.

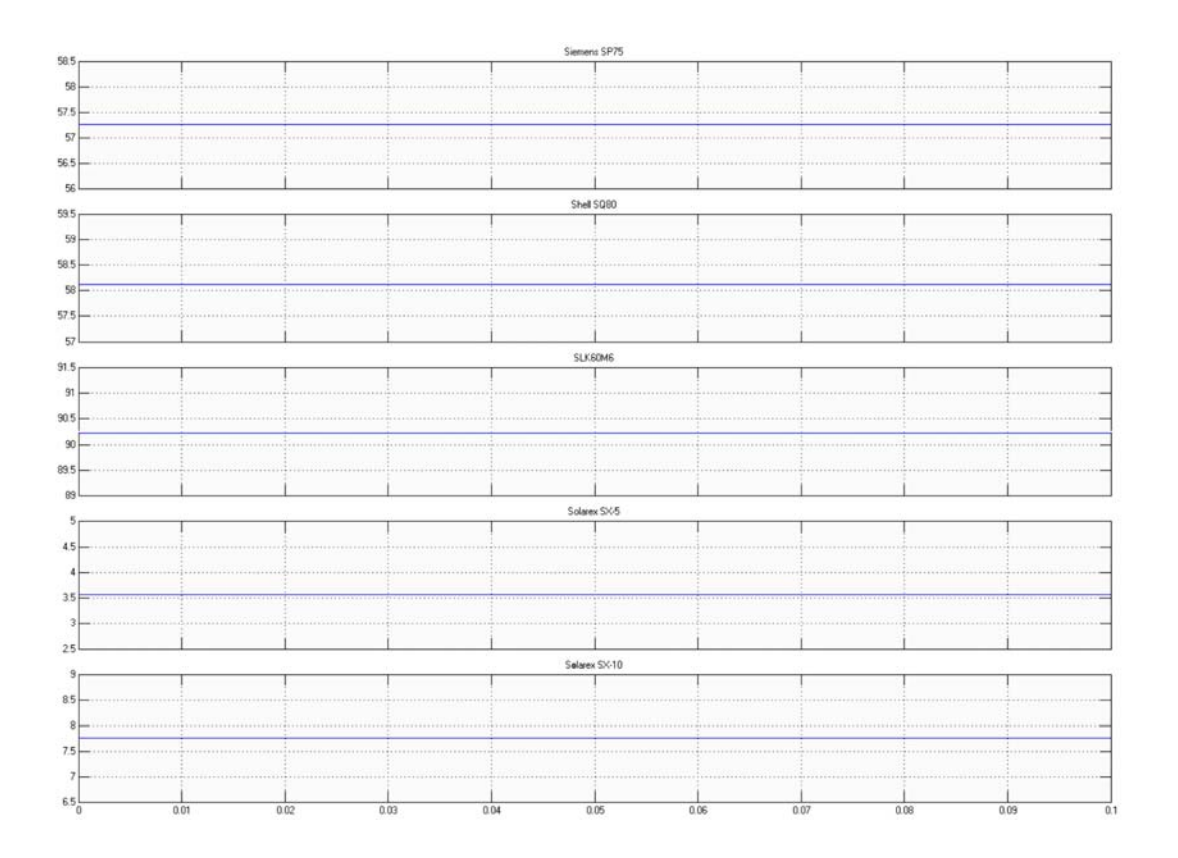


Figura 8. Potencia en las baterías para los módulos FV conectados directamente a batería.

Estos gráficos reflejan la importancia de la utilización de un dispositivo de MPPT, ya que puede verse que la potencia dada a la batería es mayor cuando se conecta a través del convertidor de MPPT que conecta directamente a la célula PV.

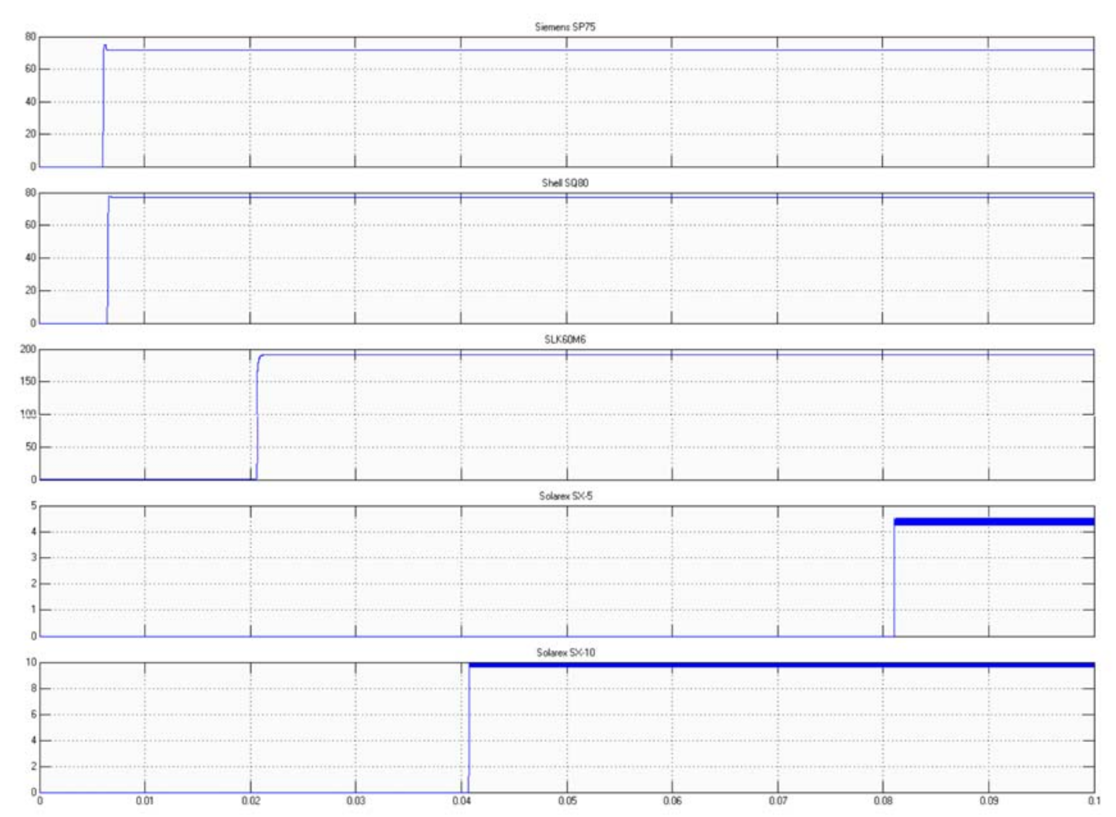


Figura 9. Potencia en las baterías para los módulos FV conectados a la batería a través del Convertidor DC/DC.

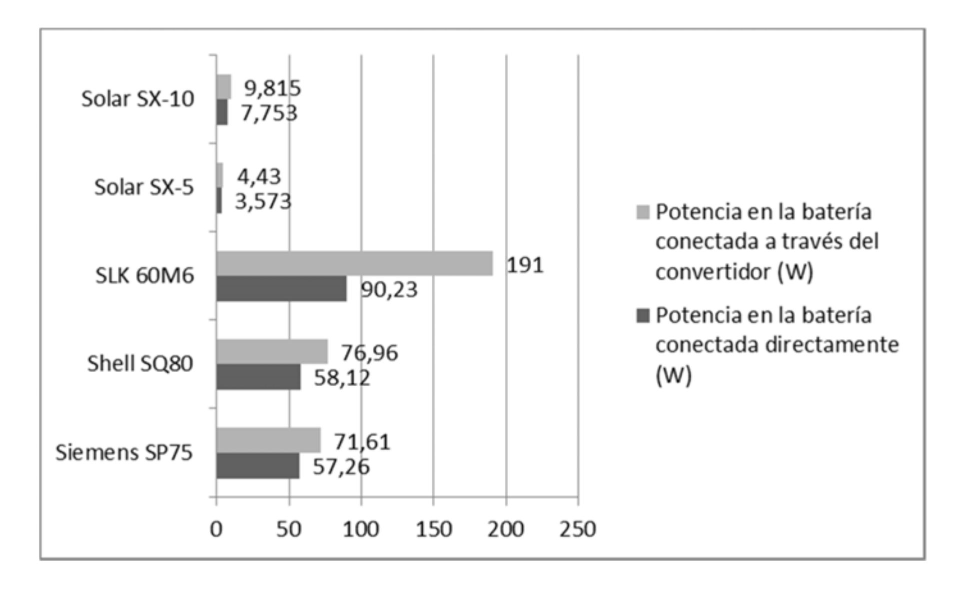


Figura 10. Representación gráfica de Potencia entregada a la batería sin controlador y con controlador. Fuente. Gómez, G, (2014)

En la figura 10 se denota el aumento de la potencia en la batería de forma gráfica mediante un diagrama de barras, de esta manera se visualiza el aumento significativo de la potencia.

VIII. CONCLUSIÓN

Este artículo presenta un controlador en modo deslizante del punto máximo de potencia en la carga de batería de un sistema fotovoltaico capaz de calcular el punto de máxima potencia bajo temperatura ambiente e irradiación solar constante y variable. El controlador propuesto es capaz de cambiar el ciclo de trabajo del interruptor MOSFET con el fin de mover el punto de operación de la instalación fotovoltaica para el funcionamiento óptimo y así mantener este punto de funcionamiento en el tiempo. El algoritmo propuesto utiliza un convertidor de no-inversión Buck-Boost con el fin de cambiar fácilmente el modo de funcionamiento del convertidor que puede ser necesario si el voltaje óptimo del módulo PV es más bajo que el voltaje de la batería. El algoritmo propuesto es capaz de calcular el voltaje óptimo con un error mínimo. El controlador propuesto sólo requiere el voltaje de salida de la matriz y la tensión óptima que se calcula de forma continua. A partir de los resultados de la simulación, es evidente que la potencia máxima es seguida y conseguida mediante el controlador de modo deslizante propuesto a temperatura ambiente e irradiación solar constante y variable, entregada a la batería incrementando la corriente que se está cargando la batería que eventualmente reducirá el tiempo de carga.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

A.M. Sharaf, Liang Yang. (2005). Un esquema de espacio eficiente de Electricidad Fotovoltaica DC usando un controlador de modo deslizante. Conferencia IEEE sobre Aplicaciones de Control, pp 1325-1330.

Alexis de Medeiros Torres, Fernando Antunes, Fernando Soares. (1998). Un controlador del seguidor del punto máximo de potencia en tiempo real basado en redes neuronales artificial para la conexión de una instalación fotovoltaica a la red. IEEE, 0-7803-4503-7/98 pag. 554-559.

Atrash, H.; Batarseh, I.; Rustom, K. (2005). Modelado estadístico de algoritmos MPPT basados en DSP en entornos ruidosos. XX Conferencia y Exposición Anual de Electrónica de potencia aplicada APEC. IEEE 2005. Volumen 3, 6-10 Page (s): 1773 - Vol. 1777. 3

Femia, N.; Petrone, G.; Spagnuolo, G.; Vitelli, M. (2004). Técnica mejorada de robustez de Perturbar y Observar' de un MPPT. IEEE Simposio Internacional de Electrónica Industrial. Volumen 2, 4-7 Página (s): 845-850 vol. 2.

Femia, N.; Petrone, G.; Spagnuolo, G.; Vitelli, M. (2005). Método de optimización de Perturbar y Observa para el seguimiento del punto máximo de potencia. Actas IEEE de Electrónica de Potencia, volumen 20, Página (s): 963-973.

Gómez J, Gerzhel G. (2014). Controlador en modo deslizante del punto máximo de potencia en la carga de batería de un sistema fotovoltaico. Tesis Maestría. Magister Scientiarum en Ingeniería de Control y automatización de Procesos. Universidad Dr. Rafael Belloso Chacín. Maracaibo.

Hanifi Guldemir. (2010). Control en modo deslizante de un convertidor Boost DC/DC. 5ª Jornada de ciencias aplicadas. ISSN 1812-5654.

Il Song Kim. (2007). Robusto seguidor del punto de máxima potencia utilizando controlador de modo de deslizante para la instalación fotovoltaica conectada a la red trifásica. Energía Solar, pag: 415-414

Il Song Kim, Myung -Bok Kim, Myung- Joong Youn. (2006). Nuevo seguidor del punto de máxima potencia usando un observador en modo deslizante para la estimación de la matriz de un panel en el sistema fotovoltaico conectado a red. Actas IEEE en Electrónica Industrial, Vol. 53, pag.1027-1036.

Jae Ho Lee; Hyunsu Bae; Bo Hyung Cho. (2006). Algoritmo avanzado de un MPPT basado en conductancia incremental con una Variable Step Size. 12th Conferencia Internacional de electrónica de Potencia y Control de Movimiento EPE - PEMC.Página (s): 603-607.

Ortiz Rivera, Eduardo I.. (2006). Modelado y Análisis de la generación distribuida solar. Disertación de doctorado, Universidad Estatal de Michigan, Estados Unidos.

Ortiz-Rivera, Eduardo I; Peng, FZ. (2005). Modelo analítico para un módulo fotovoltaico utilizando las características eléctricas proporcionadas por la hoja de datos del fabricante. 36th Conferencia IEE de Electrónica de Potencia PESC '05. vol. pp 2087-2091.

Ortiz, Eduardo; Fang, Peng. (2000). Un nuevo método para estimar la potencia máxima para un Sistema Inversor fotovoltaico. 35th Conferencia Anual IEEE de Especialistas Electrónica de Potencia.

Weidong Xiao; Dunford, WG. (2004). Un método modificado adaptativo de subir pendientes para un MPPT en sistemas de energía fotovoltaica. 35th Conferencia IEEE Anual de Especialistas en Electrónica de Potencia PESC 04. Volumen 3, 20-25. Page (s): 1957-63 Vol.3.

Wu Libo; Zhao Zhengming; Liu Jianzheng. (2007). Un sistema de una etapa trifásico conectado a red fotovoltaica con método modificado MPPT y Compensación de Energía Reactiva. Acta IEEE Conversión de Energía, Volumen 22. Página (s): 881-886.

Yushaizad Yusof, Siti Hamizah Sayuti, Muhammad Latif, Zamri Che Wanik. (2004). Modelado y Simulación del seguidor del punto de máxima potencia para el sistema fotovoltaico. Actas Conferencia Nacional Potencia y Energía (PECON) 2004, Pag. 88-93. Kuala Lumpur, Malaysa.